

5G 物联网中 K -means 算法辅助的小区休眠机制

吴诗雨, 孟庆民, 仲 姝

(南京邮电大学 信号处理与传输研究院, 江苏 南京 210003)

摘要:针对支持海量传感器通信的物联网(Internet of Things, IoT)应用,探索开发了一种基于 Small Cell 密集部署场景下的 5G 物联网模型。在分析研究网络模型中无线资源管理所涉及的小区间干扰、能量消耗等的基础上,考虑通信与计算相融合的设计方法,并将聚类算法视为一种增强 5G 物联网资源管理性能的计算方法,提出了一种基于 K -means 聚类算法的小区休眠机制。该机制的实现方案主要包括三个阶段:第一阶段控制实体利用 K -means 算法对终端设备进行聚类、分簇;第二阶段包含两个分阶段,即以簇为单位的主资源分配阶段,进而判断是否需要补充资源分配阶段;第三阶段根据资源分配结果来控制小区的激活与休眠。仿真实验结果表明,所提出的机制可有效减轻小区间干扰,提高系统容量和能效,是未来 5G 网络系统中有效可行的一种无线资源管理方法。

关键词:5G 物联网; Small Cell; K -means; 小区休眠; 能效

中图分类号: TP301.6

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2017)07-0200-05

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2017.07.44

A Dormancy Mechanism of K -means Algorithm in 5G Internet of Things

WU Shi-yu, MENG Qing-min, ZHONG Shu

(Institute of Signal and Transmission, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: Aimed at Internet of Things (IoT) application supporting mass sensor communication, a kind of 5G IoT model based on Small Cell dense-deployed has been explored. On the basis of analyzing and researching the wireless resource management related issues, such as the inter-cell interference and energy consumption in network model, considering the design method of combining the communication and computing and regarding the clustering algorithm as an enhanced 5G IoT calculation method of resource management performance, a K -means-based dormancy mechanism has been proposed. It is divided into three phases, including control entity using K -means to divide terminal equipment into different clusters in first phase, a two-stage process of resource allocation in second phase, which allocates the resource by using a cluster as a unit in the primary resource allocation stage, and decision of supplement resource allocation in third phase, which controls the activation and the dormancy of the small cells by judging the result of resource allocation. The simulation results show that the mechanism has reduced the inter-cell interference and improved capacity and energy efficiency of the system effectively, which become a kind of promising wireless resource management method in 5G network.

Key words: 5G IoT; Small Cell; K -means; dormancy mechanism; energy efficiency

0 引言

预计到 2020 年,移动终端设备的数量将增加至现在的 1 000 倍^[1]。终端设备数量的激增使得物联网应运而生^[2]。物联网涉及技术较多,物物通信(Machine to Machine, M2M)也称机器型通信技术,是其核心技术之一^[3]。对于数量庞大的终端机器型通信,需提出更快捷有效的终端管理方案。

与此同时,支持物联网应用的未来 5G 蜂窝系统(简称 5G 物联网)的研究正处于关键时期。为满足大数据传送需求,未来 5G 物联网可能采用含有超密集小型基站(Small Cell)的异构网络来提高频率复用率。但这会产生严重的小区间干扰,使得现有干扰协调技术难以应对^[4]。另一方面,基站部署的密集化会造成极大的资源消耗,节约能源、提高能效是系统设计需要

收稿日期: 2016-05-12

修回日期: 2016-09-07

网络出版时间: 2017-06-05

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61401223); 江苏省自然科学基金(15KJA510003); 南京邮电大学本专科业务(6100203)

作者简介: 吴诗雨(1996-),女,研究方向为宽带移动通信系统;孟庆民,博士,副教授,研究方向为宽带无线通信中的单信道全双工通信和基于大数据分析和 SDN 的智能无线资源分配。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20170605.1506.016.html>

考虑的另一重要问题。

研究了一些密集部署网络无线资源管理方面的相关文献。例如,文献[5]提出了一种宏分集多点协作技术,采用小区间联合聚类进行资源分配;文献[6]将匹配理论应用于异构网络资源分配问题;文献[7-8]研究了5G网络架构技术;文献[9-13]研究了 Small Cell 网络资源管理;文献[14]研究了 D2D 资源管理方案。

5G 物联网中终端设备数量庞大,除了考虑小区干扰及能耗等问题外,还需考虑有效的终端管理方案。为此,提出了一种基于 K-means 算法的小区休眠机制。鉴于机器设备在移动和需求等方面的相似性,控制实体利用 K-means 算法对终端设备分簇,并进行两阶段资源分配,根据资源分配的情况动态控制小区的休眠或激活,可有效减轻小区间干扰并提高系统能效。

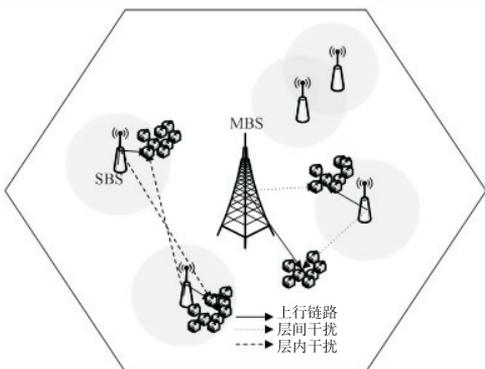
1 系统建模

1.1 网络系统模型

未来 5G 异构网络中,控制面(C-Plane)与业务面(U-Plane)是分离的。宏小区主要负责控制层面的问题;Small Cell 提供业务面的数据流量同时提高网络的吞吐量。这里考虑一种单小区的 5G 物联网系统,系统内部署了一个宏基站(MBS)和若干小型基站(SBS),周围分布了大量的终端设备,并且系统中有一个控制实体负责物联网的协调。假设 MBS 位于宏小区的中心位置,SBS 随机分布在宏小区的覆盖区域中。无线系统在数据传输时采用 OFDM 的方式,设定在资源分配时基本单元是一个物理资源块(PRB),假设每个基站包含 N_{RB} 个可用资源块。只考虑下行链路的系统模型,且上行链路对下行链路的干扰可忽略。

1.2 系统干扰模型

OFDM 系统中同一小区的资源块具备正交性,因此在同一小区占用不同 PRB 的设备间不存在相互干扰。但当不同小区的设备使用同一频段的 PRB 时,就会造成混合干扰。如图 1 所示,资源分配过程中干扰的类型主要有两种:



万方数据 系统干扰模型示意图

(1)层间干扰:宏小区的设备与 Small Cell 的设备占用了各自小区同一频段的 PRB 时,互相之间会产生层间干扰;

(2)层内干扰:不同 Small Cell 中的设备占用了各自小区同一频段的 PRB 时,互相之间会产生层内干扰。

做出以下参数设定:

(1)宏小区内共部署了 M 个 SBS,用变量 m ($m = 1, 2, \dots, M$) 进行编号, $m = 0$ 时表示 MBS;

(2)连接到序号为 m 的基站设备数量记作 $SUE(m)$ ($m = 1, 2, \dots, M$);

(3)每个基站可用 PRB 数量均为 N_{RB} ,用变量 n ($n = 1, 2, \dots, N_{RB}$) 进行编号。

由于物联网中终端机器设备请求速率不高,为简化计算又不失一般性,假设每个设备在通信过程中只占用一个 PRB。基于以上假设,对于每个基站,定义一个资源分配矩阵:

$$\mathbf{\Pi}(m) = [\pi(k, n)]_{SUE(m) \times N_{RB}} \quad (1)$$

其中,矩阵行数为 $SUE(m)$,列数为 N_{RB} 。

式(1)的含义是在序号为 m 的小区中, $\pi(k, n) = 1$ 表示第 k 个设备占用了第 n 个资源块, $\pi(k, n) = 0$ 表示设备 k 没有占用该资源块。该矩阵记录了基站中哪些资源块已被占用,可以直观判断哪些小区之间存在干扰。

1.3 链路计算模型

(1)系统平均信噪比 aveSINR。

以序号为 m 小区中的设备 k 为例,说明如何计算每个终端设备进行通信时的信噪比:

$$SINR(m, k) = \frac{P_R(m, k)}{I(m, k) + P_n}, \forall m, 1 \leq m \leq M \quad (2)$$

其中, $P_R(m, k) = P_T(m, k) \cdot G_T(m, k)$,表示设备 k 接收到 m 小区的有效信号强度, $P_T(m, k)$ 为基站每个 PRB 的发射功率, $G_T(m, k)$ 是基站与设备间的信道增益; $I(m, k)$ 为来自其他基站的干扰之和,据 1.2 节分析,可得式(3):

$$I(m, k) = d[\mathbf{\Pi}(0)] \cdot P_R(0, k) + \sum_M d[\mathbf{\Pi}(m')] \cdot P_R(m', k) \quad (3)$$

$$d[\mathbf{\Pi}(m')] = \begin{cases} 1, m' \text{ 小区对设备 } k \text{ 有干扰} \\ 0, m' \text{ 小区对设备 } k \text{ 无干扰} \end{cases}$$

未来 5G 网络架构中,宏小区与 Small Cell 更可能部署在不同的频段中以减少层间干扰^[11],主要讨论 Small Cell 层中小区之间的相互干扰。假设可通过其他方式将不同层间的干扰降到可接受范围,即 $d[\mathbf{\Pi}(0)] = 0$ 。

P_n 为加性白高斯噪声 (AWGN) 功率:

$$P_n = N_0 \cdot \left(\frac{B_w}{N_{RB}} \right) \quad (4)$$

其中, N_0 为噪声功率谱密度; B_w 为总带宽。

根据以上分析,若系统内总用户数为 N_{UE} ,可知该系统的平均信噪比为:

$$\text{aveSINR} = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^{\text{SUE}(m)} \text{SINR}(m,k)}{N_{UE}} \quad (5)$$

(2) 系统总数据传输速率 R_s 。

m 小区中的设备 k 的瞬时带宽效率为:

$$R(m,k) = \log_2[1 + \text{SINR}(m,k)] \quad (6)$$

其目的是使系统总数据传输速率 R_s 最大化,即:

$$\max \left\{ \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^{\text{SUE}(m)} R(m,k) \right\} \quad (7)$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} S_1 \cup S_2 \cup \dots \cup S_m \cup \dots \cup S_M \\ \sum_{k=1}^{\text{SUE}(m)} P_T(m,k) \leq P_{T,\max}, \forall m \\ P_R(m,k) \geq 0, \forall m, k \\ \text{SINR}(m,k) \geq \delta_{\text{SINR}}, \forall m, k \end{cases}$$

在此,约束条件中 S 表示每个基站可分配的资源块都应包含在系统资源库中;对于所有基站来说,连接的设备所用发射功率之和不应超出基站最大发射功率,否则将会无法正常通信;所有终端设备接收到的有效信号强度都应大于零,且信噪比值大于设定的门限值 δ_{SINR} 才认为可以有效进行通信。

(3) 系统能效 E_s 。

能效的定义为系统的容量与基站总能耗之比:

$$E_s = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^{\text{SUE}(m)} R(m,k)}{\sum_{m=1}^M d_m \cdot P_T(m)} \quad (8)$$

$$d_m = \begin{cases} 1, \text{序号为 } m \text{ 的小区处于激活状态} \\ 0, \text{序号为 } m \text{ 的小区处于休眠状态} \end{cases} \quad (9)$$

2 基于 K -means 的小区休眠机制

2.1 K -means 聚类

系统中终端机器设备总量为 N_{UE} ,记作 $X = \{x(i), i = 1, 2, \dots, N_{UE}\}$ 。 K -means 算法是将这 N_{UE} 个设备按一定的相似性聚类成 K_c 个簇 (cluster),记作 $C = \{c(j), j = 1, 2, \dots, K_c\}$ 。

具体算法过程如下:

(1) 随机选取 K_c 个初始聚类中心,记作 $U = \{u(j), j = 1, 2, \dots, K_c\}$ 。

(2) 计算各个样本到各个聚类中心的欧氏距离,将样本加入与其欧氏距离最短的那个中心的簇中。

(3) 计算簇 $c(j)$ 内各点到其相应聚类中心 $u(j)$

的距离平方和以及总距离平方和:

$$J[c(j)] = \sum_{x(i) \in c(j)} \|x(i) - u(j)\|^2 \quad (10)$$

$$J(C) = \sum_{j=1}^{K_c} J[c(j)] = \sum_{j=1}^{K_c} \sum_{i=1}^{N_{UE}} d_{ji} \|x(i) - u(j)\|^2 \quad (11)$$

$$d_{ji} = \begin{cases} 1, x(i) \in c(j) \\ 0, x(i) \notin c(j) \end{cases} \quad (12)$$

根据最小二乘法和拉格朗日原理,聚类中心 $u(j)$ 应取对应簇 $c(j)$ 内各样本点的均值。

(4) 按照以上步骤进行迭代并更新聚类,直到 $J(C)$ 收敛即得到最小值,迭代结束。

输出:迭代结束后,输出聚类后 K_c 个簇的中心点 $\{u_1, u_2, \dots, u_{K_c}\}$ 的空间坐标以及每个簇中包含了哪些机器设备。

2.2 小区休眠机制

2.2.1 主资源分配阶段

终端设备以“簇”为单位进行基站选择,既节省控制面开销又快速实现通信。具体方案如下:

(1) 输入:部署 M 个 Small cell,记作 $SBS(m)$;分布了 N_{UE} 个机器设备,记作 $x(i)$;设备聚类成 K_c 个簇,中心点为 $u(j)$ 。

(2) 目标函数:

$$\max \left\{ \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^{\text{SUE}(m)} \log_2[1 + \text{SINR}(m,k)] \right\} \forall m, 1 \leq m \leq M$$

(3) 执行方案:计算各个簇的中心点坐标与各个基站中心点坐标之间的欧氏距离,进而计算出第 m 个基站分配给第 j 个簇时相应的信噪比大小,记作 $\text{SINR}(m,j)$ 。利用迭代算法,直至信噪比达到最大。

(4) 输出:信噪比达到最大时,各个簇所连接基站的序号及此时的 SINR。

主资源分配阶段迭代算法流程如图 2 所示。

2.2.2 资源补充分配阶段

由于每个簇所包含的设备数量不确定,但每个基站可用 PRB 数量是一定的。根据式 (7) 中的约束条件,对于部分设备需进行资源补充分配。具体步骤如下:

(1) 根据 2.1 节的聚类结果,簇 $c(j)$ 所包含的设备总数为 $\text{CUE}(j)$ 。

(2) 比较可用资源块数量是否满足用户要求的大小:若 $N_{RB} \geq \text{CUE}(j)$,簇 $c(j)$ 内所有用户均连接到主资源分配阶段所选的基站;若 $N_{RB} < \text{CUE}(j)$,进行补充分配阶段。

(3) 计算簇 $c(j)$ 内的所有设备与所选基站间的信噪比值,降序排列,将比值大的前 N_{RB} 个设备连接到主资源分配阶段所选的基站。

(4) 剩余在步骤(3)未能分配基站的设备重新进行分簇以及资源分配,以此循环直到所有设备均与基站连接。

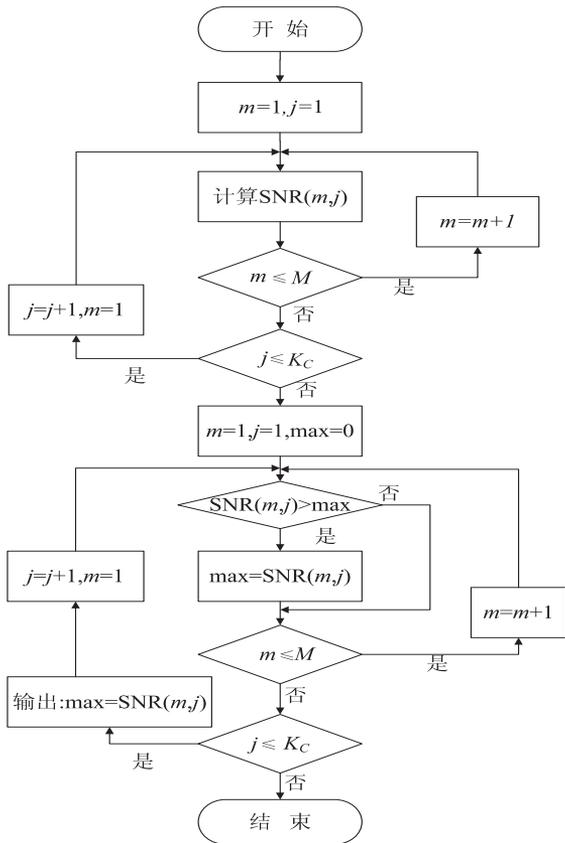


图2 主资源分配阶段算法流程图

上述资源补充分配阶段的操作流程如图3所示。

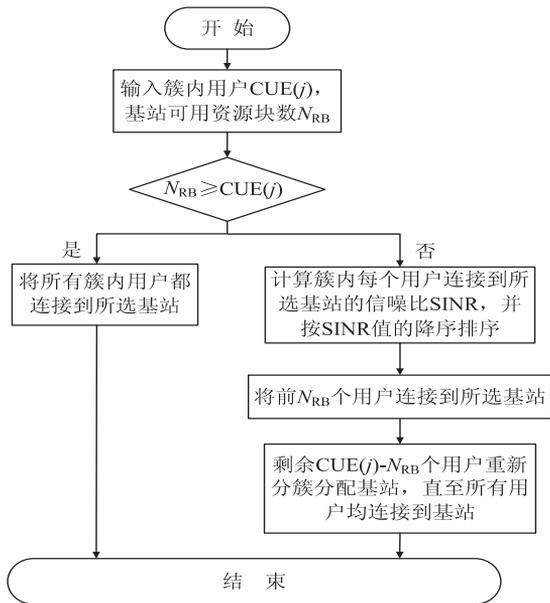


图3 资源补充分配阶段算法流程图

2.2.3 小区休眠阶段

小区休眠阶段主要思路是控制基站的激活与休眠 (on/off) 实现节能。根据优化的资源分配的基站分配结果,使得未使用的基站处于休眠状态。在节能收益

的同时,也一定程度上减少了同频小区的干扰,从而提高了信噪比和用户的吞吐量。

3 仿真及分析

3.1 系统仿真参数

仿真场景为 Small Cell 异构网络,随机分布了大量的终端设备。在 MATLAB 仿真软件下,首先对这些设备进行聚类仿真,再以系统吞吐量和能效作为主要指标进行性能仿真。

系统仿真参数如表1所示。

表1 系统仿真参数

参数	仿真值
宏小区半径/m	1 000
Small Cell 半径/m	200
宏小区载频/GHz	2
Small Cell 载频/GHz	3.5
宏基站发射功率/dBm	40
Small Cell 基站发射功率/dBm	30
系统宽带/MHz	10
基站高度/m	32
每个小区可用资源块 (PRB) 数	32
噪声功率谱密度/(dBm/Hz)	-174
天线增益与连接损耗/dBi	17
每个小区下行链路设备数	20
终端设备移动速度/(m/s)	2.5

路径损耗如下:

宏小区:

$$PL_{MBS} = 128.1 + 37.6 \log_{10}(d/1\ 000) \quad (13)$$

Small Cell:

$$PL_{SBS} = 20 \log(f) + 20 \log(d) - 28 \quad (14)$$

测量参数:测量的时间跨度为 100 s,每 10 s 测量一次。

3.2 仿真结果分析

通过 MATLAB 仿真评估平均信噪比 aveSINR 及能效 E_s 方面的增益。

仿真结果如图4和图5所示。

图中,曲线“Small Cell on/off”表示采用休眠机制后的结果;曲线“Small Cell always on”表示未采用任何方案的结果。结果呈折线是因为在 100 s 内每 10 s 进行一次采样测定,终端设备的位置时刻在变化,这个过程中基站激活与休眠情况也会发生变化,因此每个时间点的 SINR 值都是独立的。

图4表明采用所提小区休眠方案后,系统的平均信噪比有了明显提升,提升幅度在 10 ~ 25 dB 之间,有效减轻了小区间干扰。

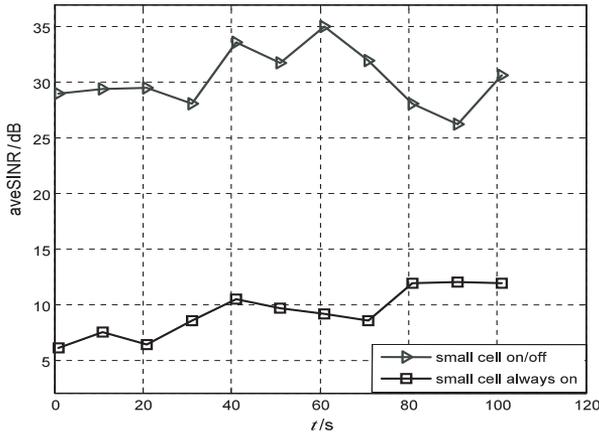


图 4 平均 SINR 比较

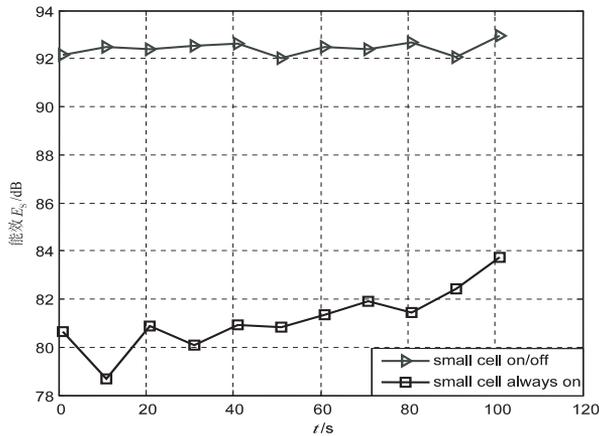


图 5 能效比较

图 5 表明系统能效平均提升了 10 dB 左右,这主要是由于在资源分配阶段,在保证通信质量的前提下,尽量让同属一个簇的设备连接到同一个基站,这也属于一种切换策略,即让少数边缘设备服从于多数中心设备,减少基站占用率。

另一方面,让未占用的基站处于休眠状态大大减少了系统的总功耗,更为重要的是小区休眠也大大减少了小区间的同频干扰。

4 结束语

针对 5G 物联网中移动终端设备管理、Small Cell 密集部署时小区间干扰严重且能耗较大等问题,提出了基于 K -means 算法的小区休眠机制。在满足设备业务需求的前提下,通过聚类算法使终端设备能快速有效地接入网络并减少控制面的开销。与此同时,通过两阶段的资源分配方案,灵活地控制小区的休眠与

激活,较大程度上减轻了小区间干扰、提高了系统性能,为未来 5G 异构网络的无线资源管理提供了有益参考。

参考文献:

- [1] Chih-Lin I, Liu Y, Han S, et al. On big data analytics for greener and softer RAN [J]. IEEE Access, 2015, 3: 3068-3075.
- [2] Coetzee L, Eksteen J. The Internet of Things—promise for the future? An introduction [C]//IST—Africa conference proceedings. [s. l.]; IEEE, 2011: 1-9.
- [3] Alam M, Nielsen H, Prasad R. The evolution of M2M into IoT [C]//First international black sea conference on communications & networking. [s. l.]; [s. n.], 2013: 112-115.
- [4] Imran A, Zoha A, Dayya A. Challenges in 5G; how to empower SON with big data for enabling 5G [J]. IEEE Network, 2014, 28(6): 27-33.
- [5] Liu L, Garcia V, Tian L, et al. Joint clustering and inter-cell resource allocation for CoMP in ultra dense cellular networks [C]//IEEE international conference on communications. [s. l.]; IEEE, 2015: 2560-2564.
- [6] Kazmi S M A, Tran N H, Ho T M, et al. Resource management in dense heterogeneous networks [C]//17th Asia-Pacific network operations and management symposium. [s. l.]; IEEE, 2015: 440-443.
- [7] 王莹, 缪中宇, 张平. 超高密度网络关键技术及研究现状 [J]. 北京邮电大学学报, 2015, 38(5): 1-17.
- [8] 雷秋燕, 张治中, 程方, 等. 基于 C-RAN 的 5G 无线接入网架构 [J]. 电信科学, 2015, 31(1): 106-115.
- [9] 朱晓荣, 朱蔚然. 超密集小蜂窝网中基于干扰协调的小区分簇和功率分配算法 [J]. 电子与信息学报, 2016, 38(5): 1173-1178.
- [10] 赵凤, 张涛, 朱晓荣. 超密集分簇网络中基于预测门限滞后余量可调的切换算法 [J]. 电子与信息学报, 2016, 38(3): 649-654.
- [11] 吴通. LTE-A 系统中 Small Cell 干扰协调技术研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2015.
- [12] 汤剑彬. LTE-Advanced 中 Small cell 无线资源管理技术研究 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2015.
- [13] 魏蓉. 高密度网络中基于分簇聚类算法的资源分配策略研究 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2015.
- [14] 韩涛. LTE 终端直通通信系统的资源复用与干扰协调 [D]. 杭州: 浙江大学, 2013.